

RF MOSFET IC 설계를 위한 수정된 SPICE BSIM3v3 모델

김중혁, 이성현, 김영욱*

한국의국어대학교 전자정보공학부, *동부일렉트로닉스

e-mail : concord1997@hotmail.com, shlee@hufs.ac.kr, ywkim@dsemi.com

Modified SPICE BSIM3v3 Model for RF MOSFET IC Design

Jong-Hyuck Kim, Seonghearn Lee, Young-Wug Kim*

Department of Electronic Engineering, Hankuk university of Foreign Studies

* Dongbu Electronics

Abstract

The improved model that external capacitances are connected to a conventional BSIM3v3 RF Macro model with R_g and R_{sub} is developed in this paper. The extracted external capacitances and resistances are modeled by scalable fitting equations. The modeled S-parameters of $0.13\mu m$ NMOSFET agree well with measured ones from 10MHz to 10GHz, verifying the accuracy of the improved model.

I. 서론

최근 전 세계적으로 개인 휴대용 무선통신 단말기 수요가 급증하고 있으며, 이에 따라 가격에 저렴한 저전력 단말기 연구가 가장 중요하게 대두되고 있다. 이를 만족하기 위해서 가격경쟁력이 탁월한 Silicon MOSFET을 기본 소자로 사용하여 baseband, IF 및 RF 모듈을 one-chip으로 직접화시키는 추세로 가고 있다.

하지만, 5GHz 대역 이상에서 동작하는 RF IC 제조를 위해서는 CMOS의 RF성능이 크게 향상되어야 하며, 최근 CMOS Foundry 공정도 게이트 길이 $L=0.13\mu m$ 으로 Scaling down 되는 추세이다 [1].

이러한 $0.13\mu m$ CMOS 기술이 초고주파 mixer와 같은 비선형 RF IC 응용분야에서 사용하기 위해서는 RF MOSFET의 bias 비선형성을 정확히 예측하고 신뢰도 있는 대신호 SPICE MOSFET 모델을 구축하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 gate length(L)이 $0.13\mu m$ 인 CMOS 트랜지스터의 RF특성을 시뮬레이션하기 위해 기존 모델에 비해 정확도가 향상된 대신호 SPICE Macro 모델을 개발하였다.

II. 본론

기존에 MOSFET용으로 널리 사용되는 SPICE 모델인 BSIM3v3 (Berkeley Short-Channel IGFET Model 3 version 3)는 scalable 한 physical 방정식에 기초로 하여, 모델 파라미터 수를 상당히 줄임으로써 mixed-circuit IC 응용 분야에 적합하게 사용되어 왔다. 하지만 기존의 SPICE BSIM3v3는 gate저항 및 substrate효과들이 고려되지 않아 RF영역에서의 시뮬레이션 정확도가 저하되는 문제점이 발생하였다. 이러한 RF 모델링 오차는 회로 설계 시 부정확한 임피던스 정합 및 회로 시뮬레이션 결과를 유발할 수 있으므로 이에 대한 정확한 모델링이 매우 중요하다.

따라서 SPICE BSIM3v3 모델의 외부 단자에 게이트 저항(R_g)과 기판 저항(R_{sub})을 연결한 BSIM3v3 RF Macro 모델이 그림 1과 같이 제안되었으나 [2],

BSIM3v3 intrinsic capacitance 모델의 부정확으로 RF 영역에서 정확한 소자특성을 모델화하는데 여전히 충분치 않았다.

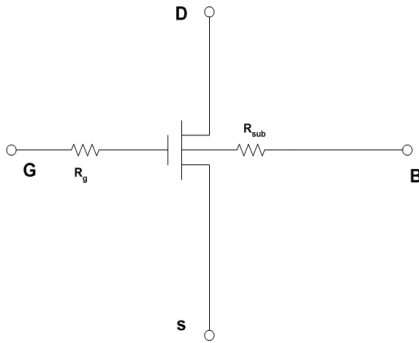


그림 1. 기존의 BSIM3v3 RF Macro 모델

따라서 본 연구에서는 RF 영역에서 기존 모델보다 훨씬 정확한 입력과 출력 특성을 시뮬레이션하기 위해서 그림 2에서 보여주는 것과 같이 그림 1의 기존 BSIM3v3 RF 모델에 C_{gsx} , C_{gdx} 를 병렬로 연결한 모델을 사용하였다. 이 때 C_{gsx} 는 기존 BSIM3v3 모델에서 발생하는 오차를 보상하고, C_{gdx} 는 W에 따라 scalable 하지 않는 fringing capacitance 성분을 모델링하기 위해 첨가되었다.

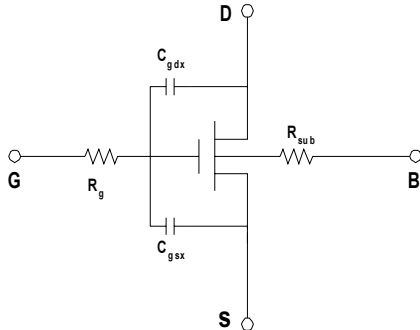


그림 2. 개선된 BSIM3v3 RF Macro 모델

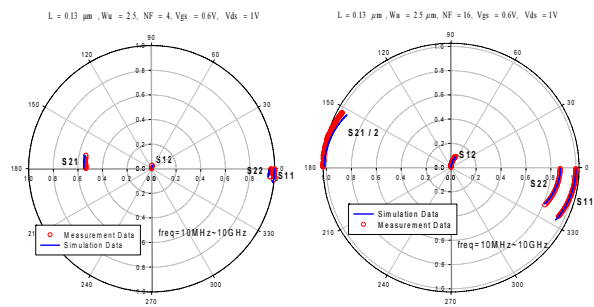
그림 2에서 외부에 첨가된 모든 Macro 파라미터들을 각각 직접 추출하기에는 복잡하므로, 본 연구에서는 BSIM3v3의 DC 및 캐패시턴스 모델 파라미터들은 I-V 데이터와 C-V 데이터를 사용하여 결정하였으며, 외부 Macro 파라미터들은 S-parameter optimization을 통해 추출하였다.

이때 신속하고 정확한 optimization을 유도하기 위하여, R_g 와 R_{sub} 는 다음 방법으로 직접 추출한 후 optimization의 초기 값으로 사용되었다. 먼저 고주파 영역(HF)에서 근사화된 $Real(Z_{11}-Z_{12})_{HF}$ 대 ω^{-2} 그래프를 외삽하여 얻어진 y-절편 값으로 R_g 를 추출하였다 [3]. R_{sub} 의 값은 낮은 주파수 범위에서 유도된 다

음 식을 사용하여 추출되었다.

$$R_{sub} = \text{Real}(Y_{22}+Y_{12})_{LF} / [\text{Imag}(Y_{22}+Y_{12})_{LF}]^2$$

이와 같은 방법으로 추출된 Macro 파라미터 (R_g , R_{sub} , C_{gsx} , C_{gdx}) 데이터들은 unit gate width(W_u), gate finger 수(NF), L 종속 scalable 방정식으로 모델화하였다. 이러한 개선된 scalable 모델의 정확도를 검증하기 위해서 NF가 다른 $L=0.13 \mu\text{m}$ N-MOSFET의 모델된 S-parameter와 측정된 데이터를 그림 3에서 비교하였다. 그 결과 10MHz에서 10GHz 까지 비교적 잘 일치하였으며, 이는 개선된 BSIM3v3 RF Macro 모델의 정확성을 입증한다.



(a) NF=4

(b) NF=16

그림 3. 개선된 모델로 시뮬레이션한 S-parameter와 측정 데이터와의 비교.

III. 결론

본 연구에서는 RF 특성을 정확히 모델링하기 위해 기존의 BSIM3v3 RF 모델에 C_{gsx} 와 C_{gdx} 를 연결한 개선된 모델을 개발하였고, 추출된 Macro 파라미터 데이터를 W_u , L, NF 종속 scalable 방정식으로 모델화하였다. $0.13 \mu\text{m}$ NMOSFET의 모델된 S-parameter와 측정된 데이터를 10MHz에서 10GHz까지 비교한 결과 비교적 잘 일치하였으며, 이는 개선된 BSIM3v3 RF Macro 모델의 정확성을 입증한다.

참고문헌

- [1] C. H. Lin et al., Proc. IEEE Bipolar/BiCMOS Circuit & Tech. Meet., pp. 73-79, 2002.
- [2] S. Lee and H. K. Yu, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 48, p. 412-416, Mar. 2000.
- [3] S. Lee, Microwave & Optical Tech. Lett., Vol. 39, No. 4, pp. 344-347, Nov. 2003.